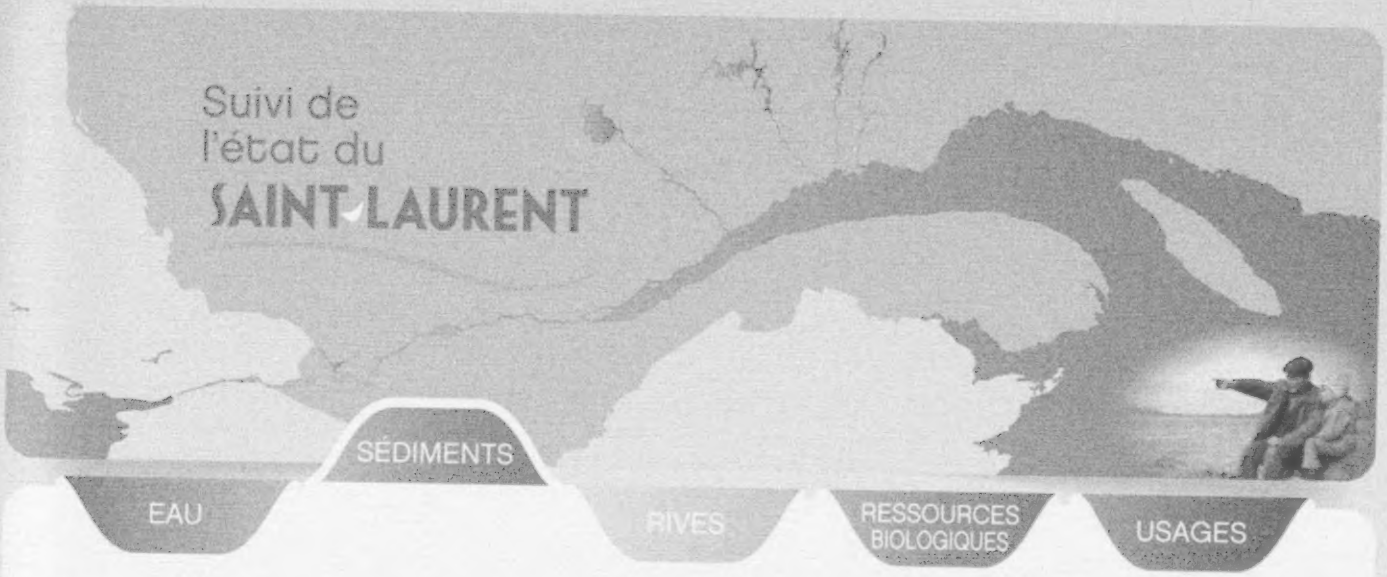
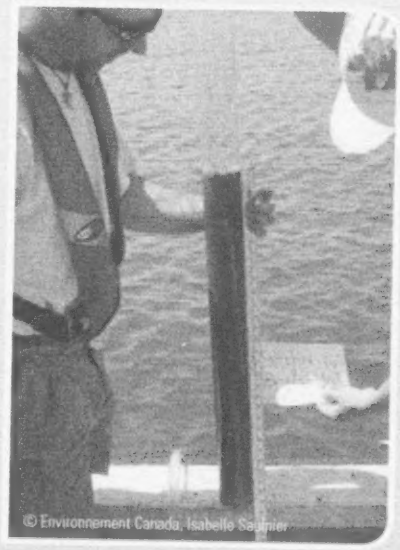


Les polybromodiphényléthers (PBDE) dans les matières en suspension et les sédiments du fleuve Saint-Laurent

Problématique

Les polybromodiphényléthers (PBDE) ont été utilisés comme retardateurs de flamme depuis les années 1960, dans une vaste gamme de produits tels que les plastiques, les résines, les produits électroniques, les textiles, les peintures, les adhésifs et les scellants. Ils ont connu une demande croissante entre les années 1980 et 1990, se retrouvant même dans les pièces automobiles et les jouets. Très similaires aux biphényles polychlorés (BPC) de par leur structure et leur forme, ils peuvent s'échapper du produit fabriqué durant les procédés de production, au cours de son utilisation ou après son élimination pour se retrouver ensuite dans l'environnement par le biais des effluents ou sous la forme d'apport atmosphérique. Les PBDE sont persistants à cause de leur résistance à la dégradation, et du fait qu'ils sont faiblement solubles dans l'eau, mais solubles dans les gras. De par ce caractère lipophile et leur forte affinité avec la matière organique, ces substances sont bioaccumulables dans les organismes aquatiques. Les PBDE produisent des effets toxiques dont le développement de cancers et la perturbation du système endocrinien. Ils se retrouvent non seulement dans les différentes couches trophiques, mais aussi dans le lait maternel, le sang et les tissus adipeux.



L'eau du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires n'a pas été épargnée par la contamination par les PBDE. Une étude effectuée par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) du Québec à une dizaine de sites d'échantillonnage au Québec montre la présence de concentrations relativement élevées de PBDE dans l'eau potable avant traitement. Les concentrations mesurées à Terrebonne, à Lavaltrie et en aval de Granby pourraient même avoir des effets nuisibles sur la faune aquatique. Heureusement, une fois traitées, les eaux destinées à la consommation humaine ne semblent pas présenter de risque. Les systèmes de traitement éliminant une grande partie des matières en suspension combinés au caractère hydrophobe des PBDE permettent de réduire de 90 % les concentrations observées avant le traitement (Berryman *et al.*, 2009).

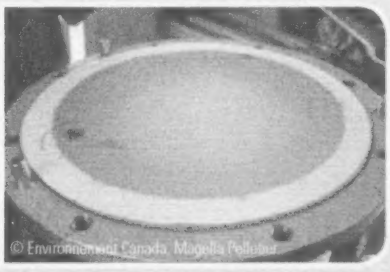
Ce document présente les résultats des analyses de PBDE obtenus dans le cadre du Programme de monitoring et de surveillance de la qualité de l'eau au Québec pour les matières en suspension dans l'eau et les sédiments. Les résultats portent sur la distribution spatiale entre Cornwall et Québec, et les variations temporelles sur quelques décennies.

Portrait de la situation

Échantillonnage et analyse

Afin de dresser un portrait spatial de la contamination des matières en suspension du Saint-Laurent par les PBDE, plusieurs stations ont été échantillonnées entre 2004 et 2008 afin de couvrir les principales masses d'eau ainsi que les zones de sédimentation du fleuve. Des matières en suspension ont été prélevées à cinq stations caractéristiques des masses d'eau du Saint-Laurent : l'île Wolfe près de Kingston (eau verte en provenance du lac Ontario), la station de Carillon (eau brune de la rivière des Outaouais), la station de Lavaltrie (eau brune de la rivière des Outaouais affectée par la région métropolitaine de Montréal), la station de Bécancour (eau verte des Grands Lacs affectée par les tributaires agricoles des basses terres du Saint-Laurent et par les régions urbaines telles que Drummondville, Sherbrooke, Saint-Hyacinthe et Granby) et finalement la station de Québec, qui représente les eaux mélangées à l'embouchure du Saint-Laurent (figure 1). Ces échantillons ont été collectés à l'aide d'une membrane filtrante en fibre de verre d'un diamètre de 240 mm pouvant retenir des particules > 0,7 µm (voir la photo). Plusieurs échantillons de matières en suspension qui avaient été prélevés à la station de Québec entre 1995 et 2005 (conservés congelés à -20 °C) ont été analysés en 2006, tandis que ceux prélevés entre 2006 et 2008 ont été analysés dans les semaines suivant leurs collectes. L'ensemble de ces analyses permet de dresser un portrait de la variation temporelle de la contamination par les PBDE à l'embouchure du fleuve Saint-Laurent et d'évaluer les variations des concentrations de PBDE sur une base saisonnière.

Le portrait spatial de la contamination des sédiments a été réalisé à partir d'échantillons recueillis aux lacs Saint-Louis et Saint-Pierre à l'automne 2003 et analysés entre 2004 et 2006 (Pelletier, 2008 et 2009), tandis qu'au lac Saint-François, ils ont été recueillis et analysés à l'automne 2008 (Pelletier, 2010) (figures 2 et 3). Ces échantillons ont été collectés à l'aide de bennes de type Shipek ou Ponar permettant le prélèvement d'échantillons peu remaniés sur une dizaine de centimètres de profondeur. Seule la portion supérieure comprise entre 0 et 5 cm a été conservée et congelée à -20 °C (voir la photo). Compte tenu que le taux de sédimentation des différents lacs fluviaux est d'environ 1,5 cm par année, ces échantillons de sédiments de surface représentent les conditions environnementales des cinq années précédant le prélèvement. Deux carottes de sédiment ont également été collectées afin de dresser un profil temporel de l'évolution des concentrations de PBDE depuis les années 1960. Les carottes de sédiments ont été effectuées à l'aide d'un carottier à percussion dans les principales zones de sédimentation des lacs Saint-François et Saint-Pierre durant l'été 2004 (voir la photo). Le sous-échantillonnage des carottes a été effectué à des intervalles de deux centimètres pour la portion supérieure des carottes.



Filtre de matières en suspension

Benne Shipek

Benne Ponar

Les échantillons de matières en suspension ont été extraits au soxhlet avec le toluène comme solvant, tandis que les sédiments ont été séchés au four à micro-ondes et extraits avec un mélange des solvants acétone : hexane (1:1). Les extraits ont été concentrés puis purifiés sur une colonne multicouche et une colonne de Florisil®. Les concentrations de 24 congénères de PBDE ont été déterminées à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse à haute résolution (CG–SMHR) au laboratoire du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) entre 2004 et 2008. Les concentrations mesurées ont été corrigées pour la récupération des étalons de recouvrement ajoutés au début des manipulations. Les PBDE analysés incluaient les 24 congénères suivants : 17, 28, 47, 49, 66, 71, 77, 85, 99, 100, 119, 126, 138, 153, 154, 156, 183, 184, 191, 196, 197, 206, 207 et 209. Un contrôle de la qualité des analyses a été effectué par l'insertion de 10 % de blanc de laboratoire, de 10 % de matière de référence (MRC) et par l'ajout de duplicatas. L'écart acceptable de l'analyse des MRC et des duplicatas est demeuré inférieur à 25 %.

De manière générale, les congénères 28, 47, 49, 66, 85, 99, 100, 153, 183 et 209 ont été le plus souvent détectés pour l'ensemble des échantillons de matières en suspension et de sédiments, tandis que tous les autres congénères ont été détectés occasionnellement. Afin de faciliter la compréhension et d'alléger la présentation des résultats, les congénères autres que le congénère 209 (BDE 209) ont été regroupés pour former la somme des congénères (ΣPBDE). La raison qui motive ce choix est liée à la fois à la composition de l'assemblage de congénères des produits commerciaux pentaBDE, octaBDE et décaBDE et au fait que les concentrations du BDE 209 sont nettement plus élevées que celles des autres congénères dans le Saint-Laurent (tableau 1).

Tableau 1 Concentrations médianes (écart type) des congénères de PBDE dans les matières en suspension et les sédiments de surface du Saint-Laurent

Station	Intervalle années	n	BDE 28 ng/g	BDE 47 ng/g	BDE 49 ng/g	BDE 66 ng/g	BDE 99 ng/g	BDE 100 ng/g	BDE 153 ng/g	BDE 15 ng/g	BDE 183 ng/g	BDE 209 ng/g	ΣPBDE ng/g
Matières en suspension													
Québec	1995-1997	16	0,02 (0,04)	3,07 (0,99)	0,15 (0,06)	0,07 (0,07)	4,68 (1,83)	0,93 (0,32)	0,64 (0,27)	0,41 (0,23)	0,34 (0,69)	12,93 (6,71)	11,38 (3,56)
	1998-2000	25	0,03 (0,05)	2,53 (1,52)	0,21 (0,10)	0,09 (0,06)	3,33 (2,53)	0,78 (0,50)	0,50 (0,41)	0,32 (0,26)	0,20 (0,28)	13,89 (15,78)	8,16 (5,44)
	2001-2003	18	–	2,45 (1,97)	0,21 (0,11)	–	3,24 (2,75)	0,72 (0,58)	0,42 (0,42)	0,23 (0,23)	0,02 (0,20)	34,30 (43,49)	8,44 (6,02)
	2004-2006	21	–	1,73 (1,14)	0,12 (0,10)	–	2,00 (1,82)	0,45 (0,35)	–	–	–	50,00 (27,19)	4,51 (3,64)
	2007-2009	17	1,84 (0,72)	5,71 (1,43)	0,44 (0,25)	–	2,32 (0,80)	0,54 (0,25)	0,22 (0,20)	–	–	50,65 (45,52)	13,24 (3,08)
Carillon	2004-2005	7	–	1,90 (1,88)	–	–	1,98 (2,36)	–	–	–	–	13,18 (18,27)	8,04 (4,28)
Île Wolfe	2004-2006	8	–	0,18 (1,26)	–	–	0,23 (1,59)	–	–	–	–	13,92 (16,61)	1,35 (2,73)
Lavaltrie	2007-2009	24	2,49 (1,81)	11,91 (5,40)	0,71 (0,47)	0,29 (0,18)	5,26 (3,34)	1,27 (0,71)	0,60 (0,39)	0,52 (0,26)	0,12 (0,53)	34,68 (129,83)	25,37 (11,23)
Bécancour	2006-2008	24	1,63 (5,07)	4,54 (10,66)	0,28 (0,97)	0,02(0,01)	1,25 (1,64)	0,33 (0,57)	–	–	–	29,60 (56,19)	9,12 (19,03)
Sédiments de surface													
Lac Saint-François	2008	30	–	0,05 (0,13)	0,03 (0,07)	–	0,06 (0,12)	–	–	–	–	2,40 (7,46)	0,18 (0,41)
Lac Saint-Louis	2003	20	0,02 (0,02)	0,26 (0,55)	0,08 (0,11)	0,08 (0,02)	0,24 (0,52)	0,08 (0,15)	0,06 (0,10)	0,05 (0,08)	0,08 (0,16)	4,05 (3,24)	0,85 (1,54)
Lac Saint-Pierre	2003	45	0,02 (0,05)	0,63 (1,73)	0,02 (0,06)	0,09 (0,28)	0,62 (2,30)	0,14 (0,45)	0,07 (0,27)	0,08 (0,19)	0,03 (0,14)	2,50 (11,21)	1,65 (5,40)

Remarque : Les chiffres entre parenthèses représentent l'écart type

Distribution spatiale des concentrations de PBDE

Matières en suspension dans l'eau

Les concentrations médianes des congénères de PBDE ainsi que de la ∑PBDE dans les matières en suspension du Saint-Laurent sont présentées au tableau 1, par intervalle d'environ deux ans pour chacune des stations. De plus, la figure 1a présente la variation spatiale (amont-aval) des concentrations médianes de PBDE entre 2004 et 2008. Ces résultats montrent que la concentration médiane de BDE 209 pour chacune des stations est plus élevée que la concentration médiane de la ∑PBDE. À l'île Wolfe et à Québec, le BDE 209 est respectivement dix fois et six fois plus élevé que la ∑PBDE. Toutefois, la concentration médiane de BDE 209 est seulement 1,4 fois plus élevée que la ∑PBDE à Lavaltrie, montrant que l'apport de BDE 209 n'est pas concordant avec celui des autres congénères de PBDE. Cette variation de l'apport est d'ailleurs mise en évidence par la variation spatiale des congénères. La concentration médiane de BDE 209 est de trois à quatre fois plus élevée à l'embouchure du fleuve à Québec (50 ng/g) qu'à la décharge du lac Ontario (14 ng/g) ou qu'à l'embouchure de la rivière des Outaouais (14 ng/g). Bien que la concentration médiane de la ∑PBDE augmente également de l'amont vers l'aval, passant de 1,4 ng/g à l'île Wolfe à 8,4 ng/g à Québec, elle culmine à la station de Lavaltrie, avec 25,4 ng/g, qui caractérise toutefois l'eau de la rivière des Outaouais. D'ailleurs, la concentration médiane à Carillon (4,8 ng/g) est environ trois fois plus élevée qu'à l'île Wolfe, montrant une nette distinction entre l'eau brune de la rivière des Outaouais et l'eau verte du fleuve. Ces constats indiquent qu'il existe des sources importantes de PBDE dans le tronçon fluvial entre Carillon et Lavaltrie, dont notamment les émissaires urbains de Montréal et de sa couronne nord. Les résultats montrent également que le BDE 209 pourrait provenir d'autres sources que les émissaires puisqu'il a un comportement spatial différent de la ∑PBDE.

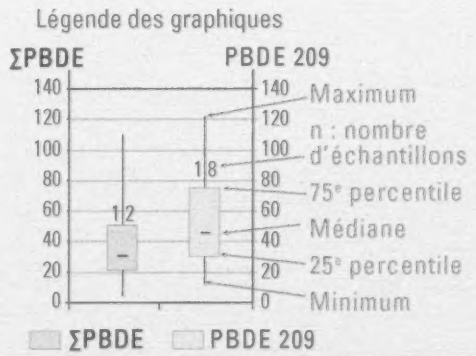
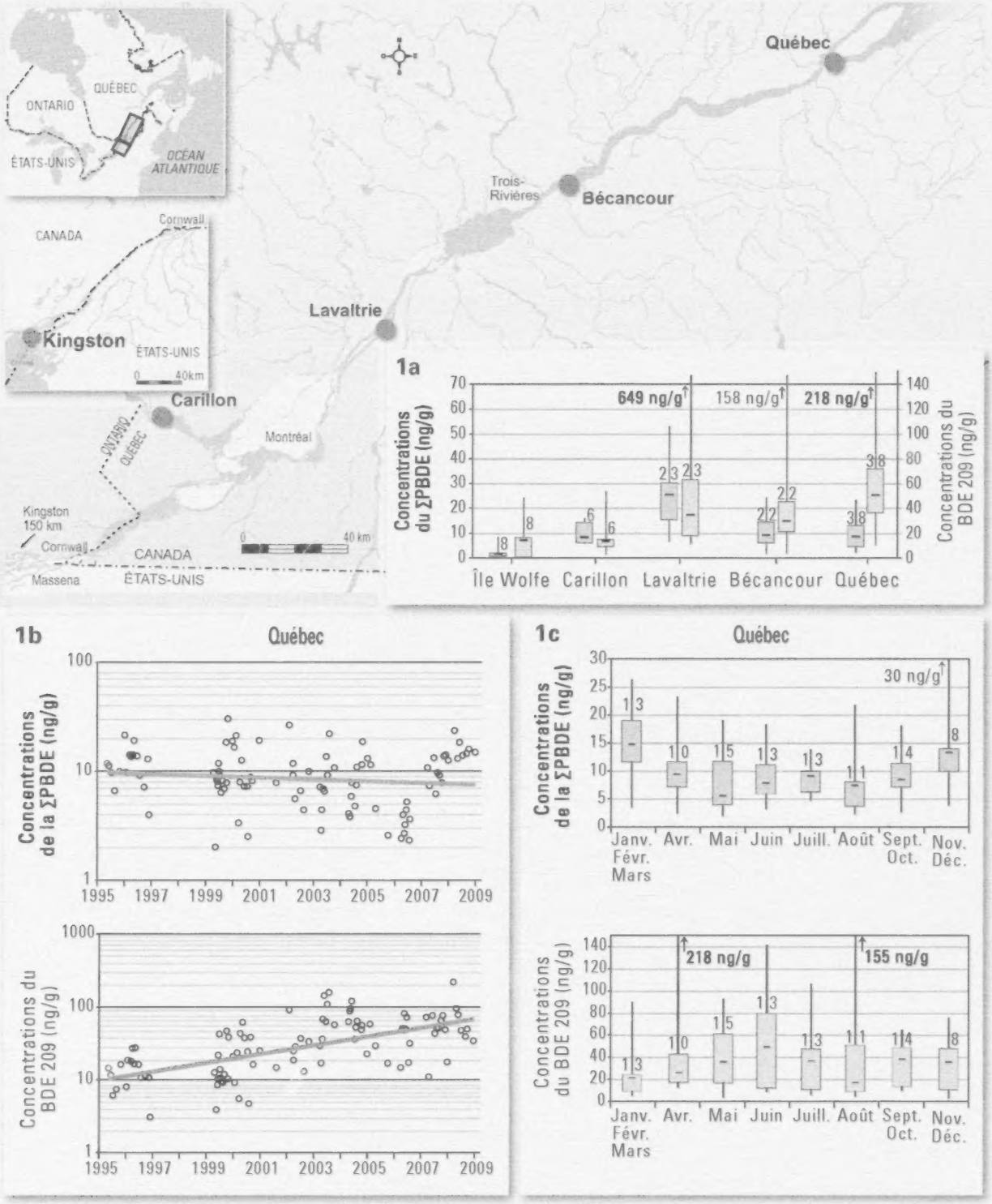


Figure 1 **Distribution spatiale et évolution temporelle des PBDE dans les matières en suspension du fleuve Saint-Laurent**



Sédiments des lacs fluviaux

Les valeurs médianes pour les sédiments de surface dans chacun des lacs fluviaux sont présentées au tableau 1 et à la figure 2a. La valeur médiane de la ∑PBDE au lac Saint-Pierre (1,65 ng/g) est neuf fois plus élevée qu'au lac Saint-François (0,18 ng/g) avec une valeur intermédiaire de 0,85 ng/g au lac Saint-Louis. Pour leur part, les valeurs médianes du BDE 209 varient peu. La variation des valeurs médianes de la ∑PBDE montre que les concentrations ont tendance à augmenter de l'amont vers l'aval, vraisemblablement à cause de sources locales situées le long du fleuve Saint-Laurent. Toutefois, contrairement aux résultats obtenus pour les matières en suspension, le BDE 209 ne montre pas de tendance à la hausse de manière significative.

Les figures 2b, 2c et 2d présentent les cartes de distribution spatiale de la ∑PBDE, et les figures 3a, 3b et 3c, celles du BDE 209. De l'amont vers l'aval, on observe à la fois une augmentation relative du nombre de stations contenant des BDE autres que le BDE 209 (∑PBDE) et une augmentation de leurs concentrations maximales, passant de 1,5 ng/g au lac Saint-François à 26 ng/g au lac Saint-Pierre. Cette augmentation des concentrations de la ∑PBDE peut être associée aux émissaires urbains. D'ailleurs, au lac Saint-Louis, il est possible d'observer une augmentation locale des concentrations de la ∑PBDE dans le bras de la rivière des Outaouais entre l'île Perrot et Vaudreuil-Dorion, qui reçoit les émissaires des villes locales. De manière similaire au lac Saint-Pierre, les concentrations augmentent dans le secteur des îles de Sorel qui reçoit les eaux usées de la ville de Montréal et de sa couronne nord.

Bien que le BDE 209 soit également associé aux émissaires urbains, sa distribution spatiale ne correspond pas à celle de la ∑PBDE. On observe de fortes concentrations au lac Saint-François, alors qu'il n'y a pas d'importants émissaires en amont. Au lac Saint-Louis et au lac Saint-Pierre, les plus fortes concentrations de la ∑PBDE se situent dans les zones de sédimentation, tandis que celles du BDE 209 n'y sont pas nécessairement associées. Cette différence pourrait être liée à la différenciation des masses d'eau et possiblement au processus de sédimentation qui varie considérablement au lac Saint-Pierre (Pelletier, 2008; Morin et Champoux, 2006).

Lacs fluviaux du Saint-Laurent : lac Saint-François, lac Saint-Louis et lac Saint-Pierre

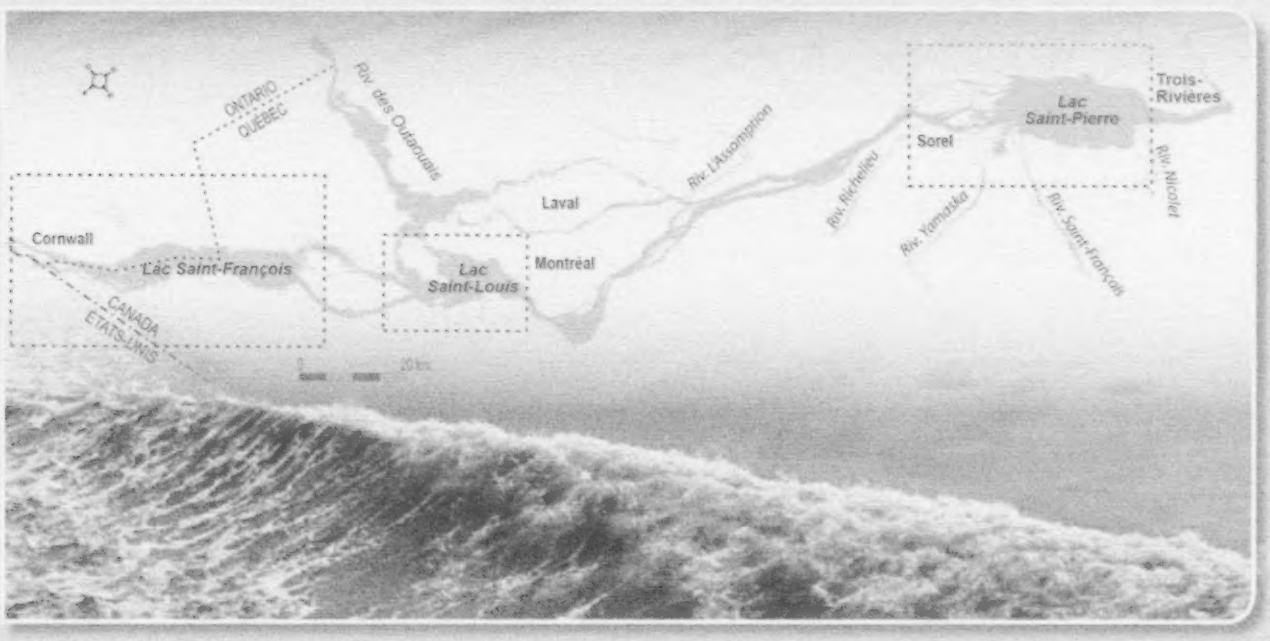


Figure 2 **Distribution spatiale de la ∑PBDE dans les sédiments de surface des lacs fluviaux**

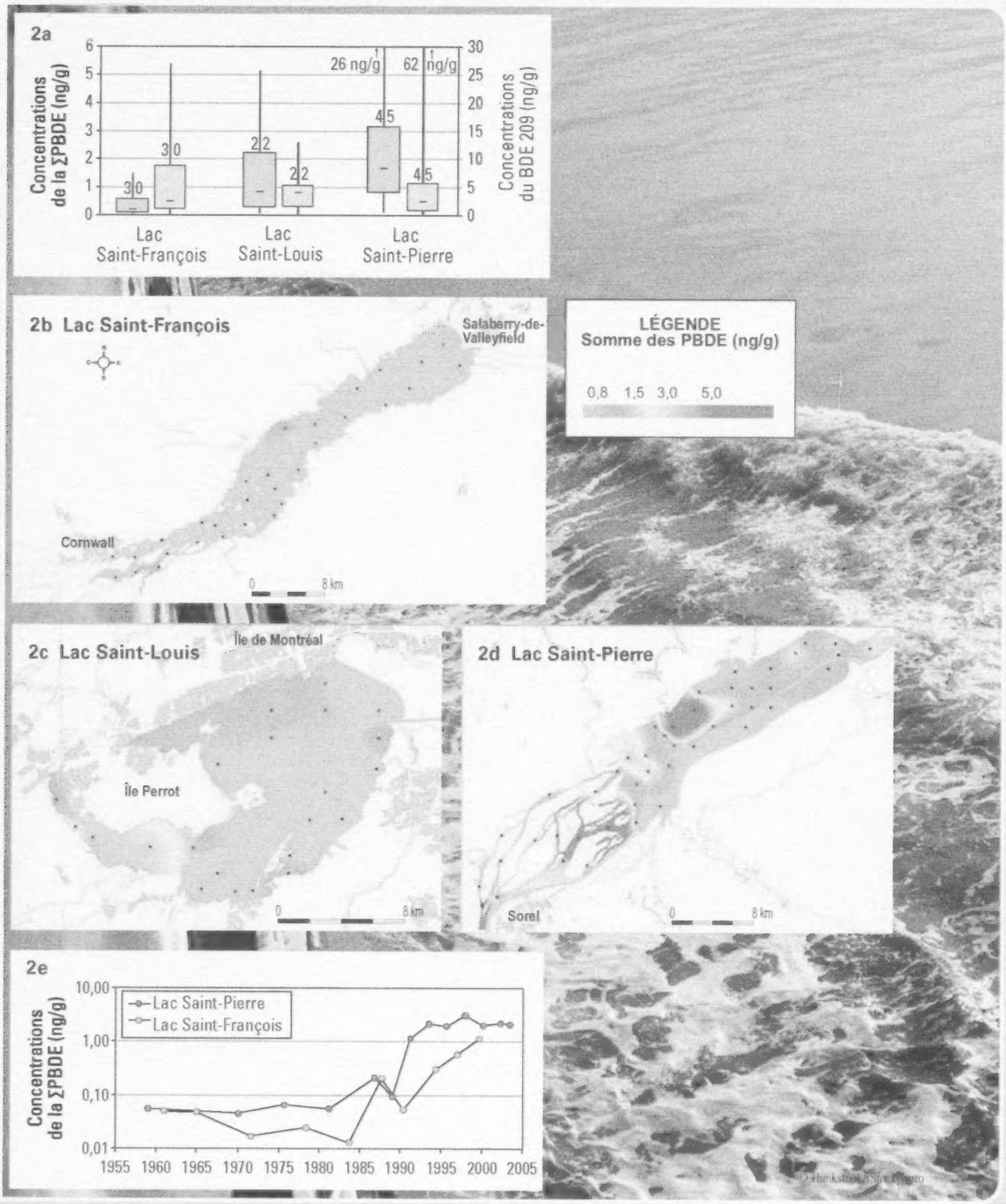
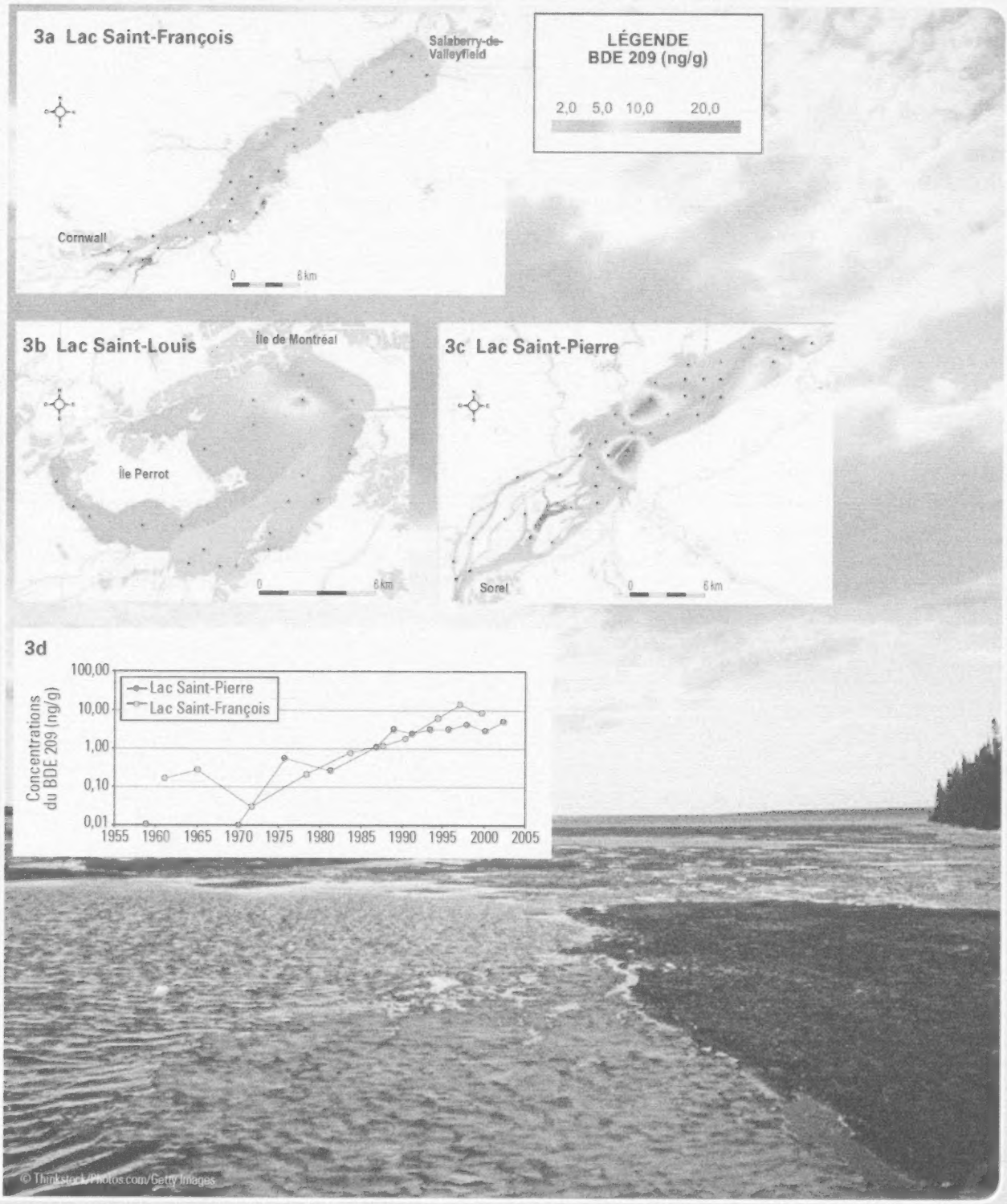


Figure 3 Distribution spatiale du BDE 209 dans les sédiments de surface des lacs fluviaux



© Thinkstock/Photos.com/Getty Images

Évolution temporelle des concentrations de PBDE

Matières en suspension dans l'eau

L'évolution temporelle des concentrations de PBDE observées dans les matières en suspension à la station de Québec entre 1995 et 2008 est présentée à la figure 1b. Durant ces années, les concentrations de la ∑PBDE et du BDE 209 sont passées approximativement de 10 ng/g à 7 ng/g et de 10 ng/g à 50 ng/g dans les eaux du fleuve Saint-Laurent. Les concentrations les plus élevées ont été observées en novembre 1999 pour la ∑PBDE avec 22 ng/g, et en avril 2008 pour le BDE 209 avec 218 ng/g. Ces résultats montrent que les concentrations de PBDE sont demeurées relativement stables pour la ∑PBDE contrairement aux concentrations de BDE 209 qui augmentent rapidement. Cette divergence dans l'évolution des concentrations des différents congénères suggère à nouveau que les apports de PBDE au fleuve proviennent de plusieurs sources.

Les variations mensuelles des valeurs médianes pour la ∑PBDE et pour le BDE 209 (figure 1c) tendent à confirmer l'hypothèse de sources distinctes de BDE 209 par rapport aux autres PBDE ou, du moins, d'un comportement géochimique différent. Les concentrations médianes de la ∑PBDE sont plus élevées en période froide (automne et hiver) et plus faibles durant la période plus chaude, tandis que celles du BDE 209 sont élevées durant l'été et atteignent leurs plus faibles valeurs en hiver. Les travaux de Gouin et Harner (2003) montrent que les PBDE sont plus volatils en période chaude qu'en période froide, que la période de lumière a une influence et que la végétation peut être un facteur confondant important. Ainsi, pour le fleuve, la ∑PBDE présente des concentrations élevées en hiver probablement en lien avec la température froide de l'eau entraînant peu de volatilisation, et en raison du couvert de glace et d'une plus faible dilution des concentrations en raison des processus d'érosion limités durant l'hiver. Durant la période plus chaude, les concentrations sont plus faibles, probablement à cause de l'effet de dilution printanière, et ensuite, durant l'été, il se produit probablement une plus forte volatilisation. Pour le BDE 209, le comportement est inversé, semblant confirmer que les sources de PBDE sont différentes. Ainsi, il est possible que l'augmentation des concentrations durant la période chaude soit liée à un apport atmosphérique plus important durant l'été, lequel apport est plus limité en hiver à cause du couvert de neige et de glace.

Sédiments des lacs fluviaux

L'évolution temporelle des concentrations de PBDE dans les sédiments aux lacs Saint-François et Saint-Pierre est présentée aux figures 2e et 3d. Les résultats montrent une augmentation rapide des concentrations de PBDE depuis le milieu des années 1980 pour la ∑PBDE, et depuis le début des années 1970 pour le BDE 209. Au tournant du siècle, les concentrations médianes de la ∑PBDE et du BDE 209 étaient respectivement de 0,7 ng/g et 9,6 ng/g au lac Saint-François et de 2,4 ng/g et 3,9 ng/g au lac Saint-Pierre. Ainsi, les concentrations de la ∑PBDE étaient au moins 3,0 fois plus élevées au lac Saint-Pierre qu'au lac Saint-François, tandis que les concentrations de BDE 209 étaient 4,0 fois plus élevées au lac Saint-François qu'au lac Saint-Pierre. Ces résultats suggèrent qu'il existe un apport relativement important de congénères autres que le BDE 209 entre le lac Saint-François et le lac Saint-Pierre, les plaçant inévitablement en relation avec les émissaires urbains de la ville de Montréal et de sa couronne nord. La faible variation du BDE 209 entre les deux lacs suggère que l'apport de ce congénère aux sédiments du fleuve Saint-Laurent est différent de celui des autres PBDE, corroborant ainsi les observations effectuées pour les matières en suspension.

Mesures-clés

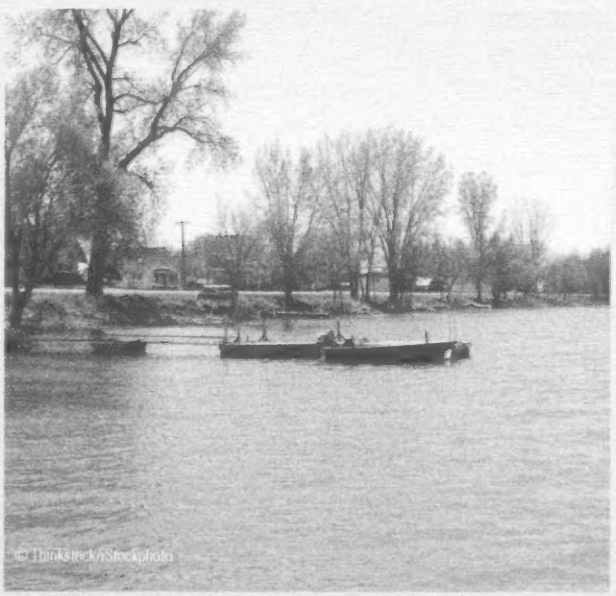
Réglementations et ligne directrice pour les PBDE

Plusieurs initiatives de réduction volontaire et les nouvelles réglementations ont permis d'initier un changement relativement important dans l'utilisation des PBDE depuis 2001. La fabrication, l'importation, l'utilisation et la vente des produits commerciaux pentaBDE et octaBDE ont été interdites au Canada depuis 2008, répondant ainsi aux critères de quasi-élimination de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*. Plus d'une dizaine d'États américains ont interdit le pentaBDE et l'octaBDE et quelques États ont même interdit le décaBDE visant ainsi une élimination volontaire d'ici la fin de 2012. L'Union européenne a réagi plus promptement au danger que représentent les PBDE en interdisant le pentaBDE et l'octaBDE dès 2004 et en limitant la concentration des PBDE dans les équipements électriques et électroniques.

Il est généralement difficile d'évaluer l'impact d'un contaminant sur la faune aquatique en l'absence de critères de qualité. L'élaboration de critères de qualité pour les sédiments nécessite de longues études écotoxicologiques et la cueillette de nombreuses données dans l'environnement. Toutefois, une première ligne directrice concernant les PBDE a été établie en 2010 par le Bureau national des recommandations et des normes d'Environnement Canada (CMP, 2011). Cette ligne directrice retient des concentrations guides pour les congénères suivants : BDE 28 (43,1 ng/g), BDE 47 (39,4 ng/g), BDE 99 (0,38 ng/g), BDE 100 (0,35 ng/g), BDE 153 (436 ng/g) et BDE 209 (18,9 ng/g). Ces valeurs ont été dérivées à partir des effets observés sur les poissons et pourraient servir comme base pour l'évaluation de la qualité des sédiments et des matières en suspension, mais ne doivent pas être considérées comme des critères de qualité pour la protection des organismes benthiques. Des études détaillées sur les effets chroniques et aigus devront être effectuées afin de pouvoir dériver des critères applicables au milieu aquatique.

Perspectives

Les polybromodiphényléthers sont de plus en plus présents dans le système aquatique du Saint-Laurent. Depuis 1995, les concentrations de BDE 209 ont quintuplé dans les matières en suspension à Québec, et depuis 1985, elles ont doublé dans les sédiments des lacs fluviaux. À Québec, les concentrations les plus élevées dans les matières en suspension sont observées au printemps et à l'été pour le BDE 209 et durant l'hiver pour les autres congénères de PBDE. Les résultats analytiques observés dans les sédiments de surface aux lacs Saint-Pierre et Saint-Louis et dans les matières en suspension aux stations de Lavaltrie et de Québec montrent un apport important de PBDE dans le Saint-Laurent provenant des émissaires urbains de la ville de Montréal et de sa couronne nord. Actuellement, les sédiments les plus contaminés sont situés au lac Saint-Pierre et atteignent un niveau de contamination similaire à ceux observés dans les Grands Lacs. L'apport en PBDE autres que le BDE 209 au fleuve provient probablement des émissaires des îles de Montréal, de Laval et de la couronne nord de Montréal. L'apport de BDE 209 ne peut pas être expliqué uniquement par l'apport des émissaires; les résultats suggèrent la présence d'autres sources qui apportent des particules organiques très fines. Le comportement géochimique du BDE 209 selon les saisons permet de croire que cette source pourrait être en partie d'origine atmosphérique.


© iStockphoto/Thinkstock

Toutefois, il se fait possiblement un apport important de particules fines et organiques provenant du bassin des Grands Lacs, comme le montrent les résultats obtenus au lac Saint-François. L'ensemble des résultats démontre l'importance de la contamination des matières en suspension et des sédiments par les PBDE dans le fleuve Saint-Laurent et laisse présager que d'importantes quantités de PBDE sont acheminées vers l'estuaire du Saint-Laurent.

À la lumière de ces résultats, il devient essentiel de poursuivre le monitoring des PBDE aux différentes stations pour la composante eau dans le fleuve Saint-Laurent. De plus, les fortes concentrations de PBDE observées dans les matières en suspension à Lavaltrie et dans les sédiments au lac Saint-Pierre arguent dans le sens de devoir documenter davantage les connaissances relatives au tronçon fluvial entre Montréal et le lac Saint-Pierre. La collecte de sédiments le long du tronçon permettra de dresser un portrait de la situation des concentrations de PBDE dans les sédiments et, de plus, permettra d'effectuer le prélèvement des matières en suspension dans le panache de l'émissaire de la ville de Montréal durant une année afin de pouvoir documenter les variations saisonnières et d'estimer l'importance de cette source de PBDE.

Pour en savoir plus

BERRYMAN, D., J. BEAUDOIN, S. CLOUTIER, D. LALIBERTÉ, F. MESSIER, H. TREMBLAY et A.D. MOISSA. 2009. *Les polybromodiphényléthers (PBDE) dans quelques cours d'eau du Québec méridional et dans l'eau de consommation produite à deux stations de traitement d'eau potable.* Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 18 pages et 3 annexes. 978-2-550-57377-7 (PDF).

CHAMPOUX, L., J. MOISEY et D.C.G. MUIR. 2010. « Polybrominated diphenyl ethers, toxaphenes, and other halogenated organic pollutants in great blue Heron eggs », *Environ. Toxicol. Chem.*, 29 : 243-249.

CMP. 2011. *Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in the Canadian Environment.* Environmental Monitoring and Surveillance in support of the Chemicals Management Plan, Environnement Canada. 12 pages. Feuillet d'information.

COSSA, D., T.-T. PHAM, B. RONDEAU, B. QUÉMERAIS, S. PROULX et C. SURETTE. 1998. *Bilan massique des contaminants chimiques dans le fleuve Saint-Laurent.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. 258 pages. Rapport scientifique et technique ST-163.

GOUIN, T. et T. HARNER. 2003. « Modelling the environmental fate the polybrominated diphenyl ethers », *Environment International*, 29 : 717-724.

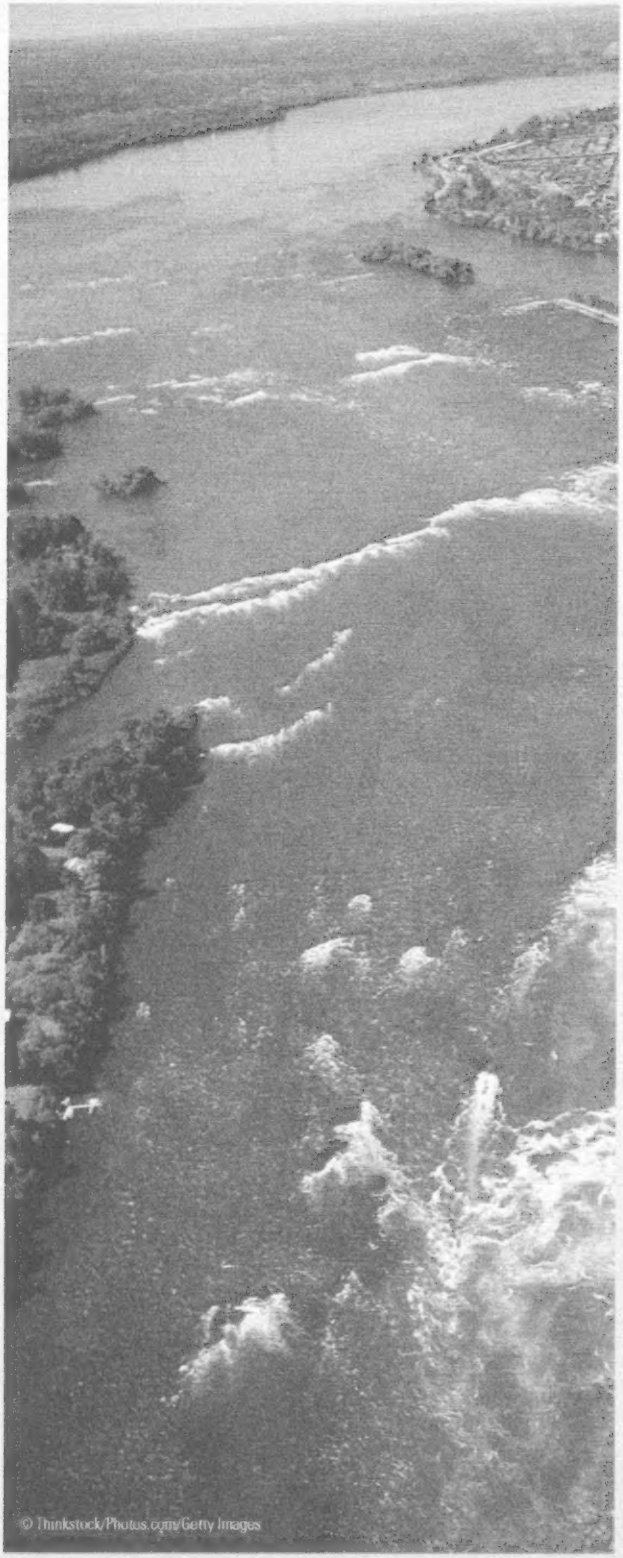
LEBEUF, M., B. GOUTEUX, L. MEASURES et S. TROTTIER. 2004. « Levels and temporal trends (1988-1999) of polybrominated diphenyl ethers in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence estuary, Canada », *Environmental Science and Technology*, 38 (11) : 2971-2977.

MORIN, J. et O. CHAMPOUX. 2006. « Modélisation intégrée des processus physiques du fleuve Saint-Laurent et de ses habitats », dans A. Talbot, *Enjeux de la disponibilité de l'eau pour le fleuve Saint-Laurent – Synthèse environnementale.* Montréal, Environnement Canada. Pp. 25-41.

PELLETIER, M. 2008. *Évolution spatiale et temporelle de la dynamique et de la géochimie des sédiments du lac Saint-Pierre.* Environnement Canada, Direction générale des sciences et de la technologie, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec. 94 pages + annexes. Rapport scientifique et technique ST-240.

PELLETIER, M. 2009. *Suivi de la qualité des sédiments au lac Saint-Louis.* Environnement Canada, Direction générale des sciences et de la technologie, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec. 75 pages + annexes. Rapport scientifique et technique.

PELLETIER, M. 2010. *Suivi de la qualité des sédiments au lac Saint-François.* Environnement Canada, Direction générale des sciences et de la technologie, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau au Québec. Rapport scientifique et technique (en préparation).



Programme Suivi de l'état du Saint-Laurent

Quatre partenaires gouvernementaux – le ministère de l'Environnement du Canada, le ministère des Pêches et des Océans du Canada, l'Agence Parcs Canada, le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec – et Stratégies Saint-Laurent, un organisme non gouvernemental actif auprès des collectivités riveraines, mettent en commun leur expertise et leurs efforts pour rendre compte à la population de l'état et de l'évolution à long terme du Saint-Laurent.

Pour ce faire, des indicateurs environnementaux ont été élaborés à partir des données recueillies dans le cadre des activités de suivi environnemental que chaque organisme poursuit au fil des ans. Ces activités touchent les principales composantes de l'environnement que sont l'eau, les sédiments, les ressources biologiques, les usages et les rives.

Pour obtenir plus d'information sur le programme Suivi de l'état du Saint-Laurent, veuillez consulter le site Internet suivant : **www.planstlaurent.qc.ca**.

Rédaction : Magella Pelletier et Myriam Rondeau
Direction des sciences et de la technologie de l'eau
Environnement Canada

Nous tenons à remercier nos réviseurs scientifiques :
Michel Lebeuf, Institut Maurice-Lamontagne, Pêches et Océans Canada
David Berryman, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec

ISBN 978-1-100-99295-2
N° de cat. : En14-67/2012F-PDF

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013
Publié avec l'autorisation du ministre du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec
© Gouvernement du Québec, 2013

Also available in English under the title: *Polybrominated diphenyl ethers in the suspended matter and sediments of the St. Lawrence River*